

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 382 219**

51 Int. Cl.:
B29C 70/32 (2006.01)
B29C 70/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07874363 .0**
96 Fecha de presentación: **13.12.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2121288**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **25.11.2009**

54 Título: **Método para minimizar la distorsión de fibras durante la fabricación de una sección compuesta monopieza de barril del fuselaje**

30 Prioridad:
14.12.2006 US 638804

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
06.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
06.06.2012

73 Titular/es:
**The Boeing Company
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:
**INGRAM, JR., William, H.;
DULL, Kenneth, M. y
BIORNSTAD, Robert, D.**

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 382 219 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para minimizar la distorsión de fibras durante la fabricación de una sección compuesta monopieza de barril del fuselaje.

CAMPO TÉCNICO

- 5 Esta divulgación se refiere en general a la fabricación de grandes estructuras de material compuesto y, más en particular, a la fabricación de grandes secciones de barril de material compuesto para fuselajes de aeronaves y otras estructuras.

ANTECEDENTES

- 10 En la industria aeroespacial son ampliamente conocidas las ventajas de los materiales compuestos, tales como materiales de fibra de carbono/epoxi y de grafito/bismaleimida (BMI), en cuanto a prestaciones estructurales. Los materiales compuestos han atraído a los proyectistas de aeronaves por su superior rigidez, elevada resistencia, poco peso, y capacidades de absorción de ondas de radar, por ejemplo. A medida que se han hecho disponibles materiales más avanzados y una mayor variedad de formas de material, ha crecido el empleo aeroespacial de materiales compuestos, lo que ha proporcionado unas mejores prestaciones de las aeronaves y ahorro de combustible. La tecnología para colocación automatizada de cinta se ha desarrollado hasta convertirse en un procedimiento automatizado ampliamente utilizado para fabricar estructuras compuestas de gran tamaño tales como paneles de ala y cola. La tecnología actual de colocación de cinta ha mejorado con el fin de ofrecer flexibilidad en las capacidades de proceso que se requieren para una amplia variedad de componentes aeroespaciales. Dado que los sistemas de colocación de cinta en la industria aeroespacial consiguen velocidades de colocación de capas de material, por ejemplo, que pueden ayudar a controlar el coste de fabricación de grandes estructuras de material compuesto, se pueden definir nuevos e innovadores usos para colocadoras de cinta, tales como la colocación automatizada de cinta en grandes secciones de fuselaje de aeronaves.

- 25 Las máquinas para colocación automatizada de cinta son típicamente máquinas de estilo pórtico que pueden tener, por ejemplo, diez ejes de movimiento con movimiento en 5 ejes en el pórtico y movimiento en 5 ejes en el cabezal dispensador. Una colocadora automatizada de cinta típica consiste en una estructura de pórtico (de carriles paralelos), una barra de alimentación cruzada que se mueve sobre imadas de precisión, una barra portaherramientas que sube y baja el cabezal dispensador de material, y el cabezal dispensador de material que está unido al extremo inferior de la barra portaherramientas. Generalmente, las colocadoras de cinta comerciales están configuradas de manera específica para el uso en aplicaciones de estratificados planos o ligeramente curvados, mediante el empleo de máquinas colocadoras de cinta en plano (siglas inglesas FTLM) o bien máquinas colocadoras de cinta en curva (siglas inglesas CTLM). En una colocadora de cinta de estilo pórtico, habitualmente se hacen rodar bajo la estructura de pórtico utillajes (o bien una mesa plana), se sujetan al piso, y después se pone en marcha el cabezal dispensador de la máquina para colocar la superficie.

- 35 En la búsqueda de la automatización de la colocación de materiales compuestos a gran velocidad y para hacer que el empleo de materiales compuestos resulte económico en comparación con métodos convencionales de fabricación de fuselajes, se han concentrado los esfuerzos en arrollar en torno a un mandril macho, denominado también "útil", material compuesto con base de fibras. Los actuales procedimientos y equipos para colocación de material compuesto con base de fibras han utilizado típicamente mandriles machos, arrollando capas de cinta sobre la superficie externa del útil.

- 40 Una vez que se han colocado los materiales compuestos sobre la superficie externa del mandril, se arrollan los materiales compuestos para formar una bolsa a la que después se aplicará vacío. A continuación se deben curar los materiales compuestos aplicando calor y presión. La elaboración o fabricación de estos materiales se lleva a cabo típicamente en un autoclave, lo que permite la aplicación concurrente de calor y presión.

- 45 Durante el curado, las piezas de material compuesto merman, es decir, disminuyen de grosor, en comparación con su estado colocado pero sin curar. Cuando se aplica vacío a un estratificado dispuesto en torno a un mandril, su volumen puede disminuir, haciendo que la estructura de material compuesto sea más delgada y más densa. Las capas externas, cuyo tamaño está determinado por la circunferencia anterior a la merma de volumen, resultan súbitamente demasiado largas, y se distorsionan o se alabean al ser comprimidas y obligadas a recolocarse en un volumen más pequeño. Este proceso de merma, cuando se está fabricando una sección cilíndrica o con forma de barril, tiende a producir distorsión de fibras hacia fuera del plano, es decir, ondulaciones en las fibras o arrugamiento de las mismas. Estas ondas o arrugas pueden interferir con el montaje final.

Existe la necesidad de una solución técnica que minimice la distorsión de fibras hacia fuera del plano durante la fabricación de una sección monopieza de fuselaje utilizando materiales compuestos.

- 55 El documento GB 1038883A divulga un método y aparato para la fabricación continua de tubos de material plástico reforzado, en los cuales se extruye desde una prensa de extrusión un núcleo de material plástico que tiene un coeficiente de dilatación térmica superior al de la resina reforzada que se va a utilizar en la fabricación del tubo. Se arrolla sobre el núcleo una banda de fibra reforzante y se impregna con resina para formar un tubo. Se somete el

tubo a termoendurecimiento por calor, y después se enfría el conjunto de manera que el núcleo se contrae en mayor medida y puede ser retirado.

El documento WO 2006/001860 A divulga secciones de barril de materiales compuestos para fuselajes de aeronaves y otras estructuras, y métodos y sistemas para fabricar tales secciones de barril.

5 COMPENDIO

En un primer aspecto de la invención se proporciona un método para fabricar una sección de barril monopieza de material compuesto tal como se define en la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas.

En un segundo aspecto de la invención se proporciona un mandril para fabricar una sección de barril monopieza de material compuesto tal como se define en la reivindicación 6.

10 Las realizaciones descritas están dirigidas a métodos para fabricar una sección de barril monopieza de material compuesto que minimizan la distorsión de fibras hacia fuera del plano. Esto se consigue fabricando un mandril con surcos que tiene un coeficiente de dilatación térmica en la dirección de un aro (es decir, circunferencial) que es mayor que la del conjunto de capas de material compuesto colocado. Como resultado de esta diferencia en los coeficientes de dilatación térmica en la dirección de un aro, el conjunto de capas de material compuesto colocado es
15 estirado circunferencialmente a medida que el mandril se expande radialmente durante el curado, eliminando de este modo o reduciendo la distorsión de fibras hacia fuera del plano. Al mismo tiempo, el mandril y la pieza que están siendo fabricados pueden tener coeficientes de dilatación térmica en la dirección longitudinal que sean aproximadamente iguales. A medida que la superficie externa del mandril aumenta de circunferencia, las fibras reforzantes orientadas circunferencialmente de una o más capas (por ejemplo, las capas más internas) son estiradas
20 mientras que las fibras reforzantes orientadas circunferencialmente de las capas más externas son estiradas en menor medida o en ninguna. El mandril y el conjunto de capas de material compuesto colocado están diseñados de manera tal que, durante la dilatación térmica, las fibras reforzantes de las capas más externas no disminuyen de circunferencia y por lo tanto no forman ondas o arrugas.

25 Un aspecto es un método para fabricar una sección de barril monopieza de material compuesto, que comprende los siguientes pasos: (a) colocar un conjunto de capas de material compuesto en torno a un mandril que tiene un coeficiente de dilatación térmica en una dirección de aro que es mayor que el coeficiente de dilatación térmica del conjunto de capas de material compuesto en la dirección de aro; y (b) elevar la temperatura y presión dentro de un volumen que rodea al conjunto de capas de material compuesto, siendo la elevación de temperatura suficiente para provocar que la circunferencia del mandril se expanda y estire una o más capas del conjunto de capas de material compuesto.
30

Otro aspecto es un método para fabricar una sección compuesta monopieza de barril, que comprende los siguientes pasos: (a) colocar una pluralidad de capas de un material compuesto en torno a un mandril para formar un conjunto de capas de material compuesto, en donde cada capa comprende fibras reforzantes y material polímero, el mandril tiene un coeficiente de dilatación térmica en una dirección de aro que es mayor que el coeficiente de dilatación
35 térmica del conjunto de capas de material compuesto en la dirección de aro, y (b) elevar la temperatura y presión dentro de un volumen que rodea al conjunto de capas de material compuesto, siendo la elevación de temperatura suficiente para provocar que la circunferencia del mandril se expanda, lo que a su vez provoca que aumente la longitud de fibras reforzantes en una o más capas del conjunto de capas de material compuesto.

40 Un aspecto adicional es un mandril para fabricar una sección compuesta monopieza de barril del fuselaje, que comprende un cuerpo que tiene un eje longitudinal y una superficie circunferencial externa, en donde el cuerpo tiene un coeficiente de dilatación térmica en una dirección paralela al eje longitudinal que es menor que su coeficiente de dilatación térmica en una dirección de aro.

Otro aspecto más es un aeroplano que comprende una sección de fuselaje fabricada de material compuesto por un método que comprende los siguientes pasos: (a) colocar un conjunto de capas de material compuesto en torno a un mandril que tiene un coeficiente de dilatación térmica en una dirección de aro que es mayor que el coeficiente de dilatación térmica del conjunto de capas de material compuesto en la dirección de aro; y (b) elevar la temperatura y la presión dentro de un volumen que rodea al conjunto de capas de material compuesto, siendo la elevación de la temperatura suficiente para provocar que la circunferencia del mandril se expanda y estire una o más capas del conjunto de capas de material compuesto.
45

50 Los siguientes enunciados numerados son antiguas reivindicaciones que se habían presentado originalmente en esta solicitud, pero que en la actualidad han sido canceladas de las reivindicaciones y se presentan a continuación con el fin de conservar su materia objeto. En consecuencia, se debe considerar que los enunciados que figuran a continuación en forma independiente definen aspectos adicionales de la invención, y se debe considerar que los enunciados que figuran a continuación en forma dependiente definen características opcionales de realizaciones de la invención.
55

10. Un método para fabricar una sección de barril monopieza de material compuesto, que comprende los siguientes pasos:

- 5 (a) colocar una pluralidad de capas de un material compuesto en torno a un mandril para formar un conjunto de capas de material compuesto, en donde cada capa comprende fibras reforzantes y material polímero, y el mandril tiene un coeficiente de dilatación térmica en una dirección de aro que es mayor que el coeficiente de dilatación térmica del conjunto de capas de material compuesto en la dirección de aro; y
- (b) elevar la temperatura y la presión dentro de un volumen que rodea al conjunto de capas de material compuesto, siendo la elevación de temperatura suficiente para provocar que la circunferencia del mandril se expanda, lo que a su vez provoca que aumente la longitud de fibras reforzantes en una o más capas del conjunto de capas de material compuesto.
- 10 11. El método según la reivindicación 10, que comprende además los pasos de:
- disminuir la temperatura y presión dentro del volumen; y separar el mandril del conjunto de capas de material compuesto después de que este último se ha enfriado.
- 15 12. El método según la reivindicación 10, en el cual durante y después de la dilatación, la longitud de las fibras reforzantes en una o más capas más externas del conjunto de capas de material compuesto no decrece en una cantidad suficiente para provocar la formación significativa de ondulaciones o arrugas en el conjunto de capas de material compuesto.
13. El método según la reivindicación 10, en el cual, durante la dilatación, el mandril y el conjunto de capas de material compuesto se expanden en una dirección longitudinal en sustancialmente la misma cantidad.
- 20 14. El método según la reivindicación 10, en donde el mandril tiene una pluralidad de surcos en su superficie circunferencial externa, y la colocación comprende los siguientes pasos:
- (i) situar una porción de un respectivo larguero con perfil de sombrero en un surco respectivo de dicha pluralidad de surcos, en donde cada larguero con perfil de sombrero está constituido por múltiples capas de material compuesto;
- 25 (ii) situar una vejiga respectiva en dicha porción de dicho respectivo larguero con perfil de sombrero después de haber realizado el paso (i); y
- (iii) situar múltiples capas de material compuesto en torno a la superficie circunferencial externa del mandril y las vejigas.
15. El método según la reivindicación 14, en donde los surcos del mandril se extienden en direcciones generalmente longitudinales.
- 30 16. El método según la reivindicación 10, en donde una porción circunferencial externa del mandril comprende tejido reforzante y material polímero.
17. Un mandril para fabricar una sección de barril monopieza de material compuesto, que comprende un cuerpo que tiene un eje longitudinal y una superficie circunferencial externa, en donde dicho cuerpo tiene un coeficiente de dilatación térmica en una dirección paralela a dicho eje longitudinal que es menor que su coeficiente de dilatación térmica en una dirección de aro.
- 35 18. El mandril según la reivindicación 17, en donde dicho cuerpo tiene una pluralidad de surcos que se extienden en direcciones generalmente paralelas a dicho eje longitudinal y separados entre sí.
19. El mandril según la reivindicación 17, en donde dicho cuerpo comprende una pluralidad de segmentos longitudinales, en donde cada uno de dichos segmentos longitudinales tiene un par de bordes longitudinales.
- 40 20. El mandril según la reivindicación 19, en donde al menos algunos de dichos bordes longitudinales tienen un respectivo labio vuelto hacia dentro.
21. El mandril según la reivindicación 19, en donde cada uno de dichos segmentos longitudinales tiene al menos un surco longitudinal en su superficie externa.
- 45 22. El mandril según la reivindicación 19, en donde está dispuesto un bloque separador entre bordes longitudinales de primer y segundo segmentos longitudinales que son adyacentes entre sí.
23. El mandril según la reivindicación 17, en donde dicho cuerpo es un estratificado formado colocando tejido fabricado de material compuesto dentro de una superficie de soporte circunferencial y curando después dicho material compuesto de dicho tejido colocado.
- 50 24. El mandril según la reivindicación 23, en donde dicho tejido comprende fibras reforzantes y material polímero.

25. El mandril según la reivindicación 23, en donde dicha superficie de soporte circunferencial está acostillada para formar surcos en dicha superficie circunferencial.

26. El mandril según la reivindicación 17, que comprende además un revestimiento de cera sobre dicha superficie circunferencial.

5 27. Un aeroplano que comprende una sección de fuselaje fabricada con material compuesto mediante un método que comprende los siguientes pasos:

(a) colocar un conjunto de capas de material compuesto en torno a un mandril que tiene un coeficiente de dilatación térmica en una dirección de aro que es mayor que el coeficiente de dilatación térmica del conjunto de capas de material compuesto en la dirección de aro; y

10 (b) elevar la temperatura y presión dentro de un volumen que rodea al conjunto de capas de material compuesto, siendo la elevación de temperatura suficiente para provocar que la circunferencia del mandril se expanda y estire una o más capas del conjunto de capas de material compuesto.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

15 La Figura 1 es una ilustración que muestra una vista isométrica parcialmente oculta de una aeronave que tiene un fuselaje que incluye una pluralidad de secciones de barril fabricadas de acuerdo con una realización.

La Figura 2 es una ilustración que muestra una vista isométrica de una parte de una sección de barril de fuselaje de acuerdo con una realización, ensamblada.

La Figura 3 es una ilustración que muestra una vista isométrica de una estación de colocación de forro configurada de acuerdo con una realización.

20 Las Figuras 4 a 6 son ilustraciones que muestran respectivas vistas frontales en sección transversal de fases en un método para unir un rigidizador de material compuesto a un estratificado de material compuesto de acuerdo con una realización.

La Figura 7 es una ilustración que muestra un sistema de coordenadas en el cual el eje Z es normal a la superficie circunferencial de un mandril.

25 La Figura 8 es una ilustración que muestra la contribución del componente en dirección Z al coeficiente de dilatación térmica en la dirección de un aro en un mandril con surcos fabricado de material compuesto, por ejemplo tejido reforzante y epoxi.

La Figura 9 es una ilustración que muestra una parte de un mandril generalmente cilíndrico que tiene surcos longitudinales de forma generalmente trapezoidal.

30 La Figura 10 es una ilustración que muestra una parte de un mandril que tiene surcos semicirculares.

La Figura 11 es una ilustración que muestra una parte de un mandril que tiene surcos en forma de V.

La Figura 12 es una ilustración que muestra una vista frontal en sección transversal de una porción de un mandril generalmente cilíndrico que comprende segmentos de acuerdo con otro ejemplo no cubierto por la invención.

35 La Figura 13 es una ilustración que muestra una vista frontal en sección transversal de una porción de un mandril generalmente cilíndrico que comprende segmentos separados por bloques de soporte de acuerdo con un ejemplo adicional no cubierto por la invención.

La Figura 14 es una ilustración que muestra una parte de la Figura 12 a una escala ampliada.

La Figura 15 es una ilustración que muestra una parte de la Figura 13 a una escala ampliada.

40 Las Figuras 16 y 17 son ilustraciones que muestran una vista frontal en sección transversal de una parte de un mandril expansible en estados sin expandir y expandido, respectivamente, de acuerdo con otro ejemplo más no cubierto por la invención.

La Figura 18 es una ilustración que muestra una parte de la Figura 17 a una escala ampliada.

45 La Figura 19 es una ilustración que muestra una vista frontal en sección transversal de una fase del método para unir un rigidizador de material compuesto a un estratificado de material compuesto de acuerdo con una realización. La fase representada viene después del curado y el enfriamiento.

Se hará referencia ahora a los dibujos, en los cuales elementos similares en dibujos diferentes llevan los mismos números de referencia.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

El método descrito en la presente memoria es especialmente adecuado para fabricar secciones de un fuselaje de aeronave mediante el empleo de material compuesto, pero no está limitado a esa aplicación. En general, se podría utilizar el método para construir secciones con forma de barril de un fuselaje, el armazón, envuelta, marco u otra parte de un cohete. Además, en el ejemplo particular que se describe a continuación, la sección de fuselaje está fabricada de fibra de carbono/material epoxi. Sin embargo, se podrían utilizar otros materiales compuestos, tales como (pero sin quedar limitados a éste) material de grafito/BMI.

La divulgación que sigue describe secciones de barril de material compuesto para fuselajes de aeronaves y otras estructuras, y métodos y sistemas para la fabricación de tales secciones de barril. A lo largo de esta divulgación, se utiliza por conveniencia la expresión "sección de barril" para referirse de manera general a una estructura de carcasa cerrada que se extiende 360° alrededor de un eje. Tales estructuras pueden incluir, por ejemplo, carcasas cilíndricas que tienen formas de sección transversal circulares, ovales, elípticas, ahuevadas, y otras formas simétricas y/o asimétricas. Tales estructuras pueden incluir además carcasas cerradas no cilíndricas. En la descripción que sigue se exponen algunos detalles con el fin de proporcionar una comprensión completa de diversas realizaciones. En la divulgación que sigue no se exponen otros detalles de descripción de estructuras y sistemas bien conocidos, asociados frecuentemente a estructuras de aeronaves y técnicas de fabricación con materiales compuestos, para no oscurecer innecesariamente la descripción de las diversas realizaciones.

Muchos de los detalles, dimensiones, ángulos y otras características que se muestran en los dibujos son meramente ilustrativos de realizaciones particulares. En consecuencia, otras realizaciones pueden tener otros detalles, dimensiones, ángulos y características. Además, se pueden ejecutar otras realizaciones sin algunos de los detalles que se describen a continuación.

La Figura 1 es una vista isométrica parcialmente oculta de una aeronave 100 que tiene un fuselaje 102 que incluye una pluralidad de secciones de barril 110 configuradas de acuerdo con una realización. En un aspecto de esta realización que se describe con mayor detalle más adelante, cada una de las secciones de barril 110 puede ser fabricada individualmente como una sección monopieza de materiales compuestos, tales como (pero sin quedar limitados a éstos) materiales de fibra de carbono/epoxi y de grafito/BMI. Después de la fabricación, se pueden unir entre sí las secciones de barril 110 mediante unión con adhesivo y/o fijación mecánica a lo largo de juntas circunferenciales 112 para formar el fuselaje 102. El fuselaje 102 puede incluir una cabina de pasajeros 104 configurada para acoger una pluralidad de asientos de pasajero 106. Como alternativa, se pueden omitir los asientos de pasajero 106, y se puede utilizar el espacio de la cabina para otros fines, tales como el transporte de carga.

La Figura 2 muestra una vista isométrica interior de una parte ensamblada de una sección de barril 110 vista en la Figura 1, fabricada de acuerdo con una realización. Cada sección de barril 110 puede comprender una pluralidad de rigidizadores 4 (identificados individualmente como rigidizadores 4a-4d en la Figura 2) unidos a un forro 2. El forro 2 y los rigidizadores 4 están fabricados de material compuesto, por ejemplo fibras reforzantes en una matriz polímera. Cada uno de los rigidizadores 4 puede incluir una porción elevada 8 que se proyecta alejándose del forro 2 y un par de faldillas 38 (identificadas individualmente como faldillas 38a y 38b en la Figura 2) que se extienden en direcciones opuestas y tienen un ancho variable. Las faldillas 38a y 38b de los rigidizadores 4 pueden ser acopladas directamente al forro 2. En la realización ilustrada, los rigidizadores 4 tienen secciones transversales en forma de sombrero. Sin embargo, en otras realizaciones, los rigidizadores pueden tener otras formas de sección transversal.

En una realización que se describe con mayor detalle más adelante, el forro 2 y los rigidizadores 4 están fabricados de material compuesto formado por fibra de carbono y epoxi. Los rigidizadores 4 pueden estar unidos al forro 2. Por ejemplo, se pueden unir los rigidizadores 4 al forro 2 durante un proceso de curado conjunto en el cual los rigidizadores 4 y el forro 2 son curados conjuntamente a temperatura y presión elevadas. En otra realización, se pueden curar previamente los rigidizadores 4 y se pueden unir mediante adhesivo al forro 2 cuando se exponen a temperatura y presión elevadas.

Se puede situar cada uno de los rigidizadores 4 sobre el forro 2 de manera las partes anchas de las faldillas 38a y 38b de los rigidizadores 4 estén mutuamente alineadas, con los bordes haciendo tope o casi haciendo tope. Cuando las faldillas 38a y 38b están alineadas de la manera que se ha dicho, las partes anchas de las mismas pueden formar una pluralidad de superficies de soporte al menos aproximadamente continuas que se extienden entre las porciones elevadas 8 de los rigidizadores 4.

Cada sección de barril 110 puede comprender además una pluralidad de miembros de soporte o marcos 6 (identificados individualmente como un primer marco 6a y un segundo marco 6b en la Figura 2). En la realización que se ilustra, los marcos 6a y 6b son marcos en dos piezas que incluyen una primera sección, respectivamente 56a y 56b, de marco, y una segunda sección, respectivamente 58a y 58b, de marco. En esta realización, cada segunda sección 58b de marco tiene una sección transversal en forma de C. En otras realizaciones, la segunda sección de marco puede tener otras formas de sección transversal, tales como una sección transversal en forma de L. Todavía en otras realizaciones, pueden omitirse los marcos 6 o bien, como alternativa, la sección de barril 110 puede incluir otros marcos compuestos de un número mayor o menor de secciones de marco. Cada primera sección de marco incluye un porción de base y una porción alzada que se proyecta alejándose de la parte de base. La parte alzada

puede incluir una pluralidad de aberturas, por ejemplo "agujeros de ratón", a través de las cuales se extienden las porciones elevadas 8 de los rigidizadores 4.

5 Según una realización, se pueden agregar en primer lugar las primeras secciones de marco 56a y 56b a la sección de barril 110, y después se pueden agregar las segundas secciones de marco 58a y 58b a las primeras secciones de marco. Cuando se agregan las primeras secciones de marco a la sección de barril 110, se acopla la porción de base de la primera sección de marco a las faldillas de los rigidizadores 4 sin ser acoplada al forro 2. Es decir, las superficies de acople de la porción de base de la primera sección de marco contactan con las superficies de soporte formadas por las faldillas, pero no contactan con el forro 2. De este modo, las faldillas de rigidizador quedan eficazmente emparedadas entre las primeras secciones de marco y el forro 2. En una realización, se pueden fijar las primeras secciones de marco 56a y 56b a la sección de barril 110 con una serie de elementos de fijación adecuados. En otra realización, se puede unir mediante adhesivo la porción de base de las primeras secciones de marco 56a y 56b directamente a las faldillas 54. Después de que se haya agregado a la sección de barril 110 cada una de las primeras secciones de marco, se puede agregar a esta primera sección de marco una respectiva segunda sección de marco. En una realización, se puede fijar la segunda sección de marco a la porción alzada de la primera sección de marco con una serie de elementos de fijación adecuados. En otra realización, se puede unir mediante adhesivo la segunda sección de marco a la porción alzada de la primera sección de marco. Sin embargo, en otras realizaciones, se pueden agregar en primer lugar las primeras secciones de marco a las segundas secciones de marco, y después se pueden agregar los marcos 6a y 6b a la sección de barril 110 como una unidad completa.

20 Según otra realización más, se pueden omitir al menos parcialmente las faldillas de los rigidizadores 4. En esta realización, se puede formar una porción elevada sobre el forro 2 entre los rigidizadores 4 con una capa o capas adicionales de material. La porción elevada puede reemplazar a las faldillas en la formación de la superficie de soporte a la cual se acoplan las porciones de base de las primeras secciones.

25 Se pueden emplear otras configuraciones de rigidizador, tales como las descritas en la solicitud de patente de EE.UU. con número de serie 10/851,381, presentada el 20 de mayo de 2004 (véanse, por ejemplo, las Figuras 3A, 3B, 4A y 4B de esa solicitud).

30 La Figura 6 de la solicitud de patente de EE.UU. con número de serie 10/851,381 antes mencionada muestra un sistema de fabricación de secciones de barril dispuesto sobre el piso de una fábrica. Tal sistema de fabricación de secciones de barril se puede utilizar para fabricar secciones de barril de acuerdo con diversas realizaciones divulgadas en la presente memoria. Ese sistema de fabricación de secciones de barril incluye una disposición en serie de estaciones de fabricación configuradas para fabricar las secciones de barril de fuselaje que se han descrito más arriba en referencia a las Figuras 1 y 2. Como panorámica general, la fabricación de la sección de barril comienza con una estación de carga de rigidizadores antes de ser trasladada a una estación de colocación de forro. Después de la estratificación del forro, la sección de barril es trasladada a una estación de vacío para recibir una funda para vacío, antes de ser trasladada a una estación de curado. De allí, la sección de barril es trasladada sucesivamente a una estación de inspección, a una estación de desbarbado y a una estación de montaje.

40 La disposición precedente de estaciones de fabricación no es sino una disposición que se puede emplear para fabricar las secciones de barril de fuselaje que se describen en la presente memoria. En otras realizaciones se pueden emplear otras disposiciones de fabricación y/u otros tipos de estaciones de fabricación, en lugar de o además de una o más de las estaciones de fabricación mencionadas en el párrafo precedente. Por ejemplo, según una variación, se pueden situar una o más de las estaciones de fabricación en una disposición en paralelo en lugar de en la disposición de tipo en serie. Según otra variación, se pueden combinar dos o más de las estaciones de fabricación para formar una única estación.

45 En el sistema de fabricación de secciones de barril antes mencionado (plenamente divulgado en la solicitud de patente de EE.UU. con número de serie 10/851,381), la estación de carga de rigidizadores tiene dos etapas en las cuales se cargan una pluralidad de rigidizadores sobre un conjunto de útil para sección de barril. Este último puede comprender un accesorio de útil giratorio configurado para soportar una pluralidad de segmentos de útil en una disposición cilíndrica. Según algunas realizaciones, los segmentos de útil pueden estar fabricados de material compuesto formado por fibra de carbono y resina. Cada uno de los segmentos de útil puede incluir una pluralidad de surcos 34 para rigidizador (véase la Figura 4 de la presente memoria) configurados para recibir individualmente un correspondiente rigidizador 4 que tiene la forma de un larguero con perfil de sombrero del tipo mostrado en la Figura 2. Haciendo referencia todavía a la Figura 4, cada uno de los rigidizadores 4 es colocado de manera invertida en el correspondiente surco 34 para rigidizador de manera que las faldillas 38a y 38b del rigidizador se alojan en rebajes correspondientes formados en el segmento de útil adyacentes al surco 34 para rigidizador.

55 Según una realización, los rigidizadores pueden estar sin curar cuando son situados en los surcos para rigidizador. En el estado sin curar, los rigidizadores son relativamente endebles. En consecuencia, puede ser necesario un utillaje adecuado para mantener al menos temporalmente los rigidizadores en su sitio, apoyados contra los segmentos del útil después de haber sido instalados en los surcos para rigidizador. En otras realizaciones, los rigidizadores pueden estar al menos parcialmente curados, en cuyo caso puede que se necesiten menos útiles o

bien útiles diferentes para mantener los rigidizadores en su sitio.

Una vez que los segmentos de útil han sido cargados por completo con los rigidizadores, se cargan los segmentos de útil en el accesorio de útil giratorio, formando con ello un mandril giratorio. Para evitar que durante la rotación se caigan los rigidizadores saliéndose de los surcos para rigidizador, se puede arrollar una capa más interna de tejido de material compuesto en torno a los segmentos de útil para mantener los rigidizadores en su sitio. En otras realizaciones, se puede omitir la capa más interna y se pueden mantener en su sitio los rigidizadores por otros medios, entre ellos pinzas para útiles locales u otros dispositivos.

En la Figura 3 se muestra una estación de colocación de forro según una realización. Después de que se ha instalado por completo la capa más interna 22, una estructura 16 de soporte de útil transporta el accesorio de útil giratorio 14 (en lo sucesivo "mandril") a la estación 12 de colocación de forro por medio de un par de pistas 20 situadas en el piso. El mandril 14 está soportado de manera que puede girar en la estructura 16 de soporte de útil por medio de una pluralidad de rodillos 18, de los cuales sólo uno se muestra en la Figura 3. Como alternativa, se podría utilizar un husillo central para soportar y girar el mandril 14 en lugar de los rodillos externos 18. En una realización adicional, se pueden omitir los segmentos individuales de útil y en lugar de ello el mandril 14 puede incluir una superficie cilíndrica completa configurada para acoger los rigidizadores.

En un aspecto de esta realización, la estación de colocación 12 incluye una máquina 24 situadora de fibra (que se muestra esquemáticamente) soportada de manera amovible sobre una viga de seguimiento 26. La viga de seguimiento 26 puede ser parte de una plataforma de trabajo 32 situada adyacente al mandril 14 cuando el mandril está aparcado en la estación de colocación 12. Aunque por claridad no se ilustra con detalle en la Figura 3, la máquina 24 situadora de fibra puede incluir uno o más cabezales largadores configurados para colimar múltiples mechas de fibra 28. Además, la máquina 24 situadora de fibra puede incluir también elementos físicos de soporte (tales como estizolas para el material, rodillos de compactación, etc.) que se utilizan típicamente con máquinas situadoras con varios ejes, montadas sobre pórtico, para dispensar, sujetar, cortar y reiniciar mechas de fibra y/u otros materiales compuestos tales como tejidos, cintas, filamentos individuales, y otros materiales compuestos uni- y multidireccionales preimpregnados y sin preimpregnar, y combinaciones de los mismos.

En funcionamiento, la máquina 24 situadora de fibra se mueve adelante y atrás a lo largo de la viga de seguimiento 26, estratificando las mechas de fibra colimadas 28 sobre la capa más interna 22 a medida que el mandril 14 gira sobre el eje longitudinal A. La máquina 24 situadora de fibra puede incluir uno o más rodillos u otros dispositivos (que no se muestran) adecuados para mantener en su sitio la capa más interna 22 durante la aplicación de las mechas de fibra 28 con el fin de evitar la formación de arrugas en la capa más interna 22. La máquina 24 situadora de fibra puede aplicar múltiples capas con diversos esquemas de diseño. Por ejemplo, en una realización la máquina 24 situadora de fibra puede extender capas con ángulos de desviación de $-45/0/+45$ grados con el fin de proporcionar propiedades estructurales deseadas. En otras realizaciones se pueden utilizar otros esquemas de diseño y/u otras orientaciones de capas, para proporcionar otras propiedades estructurales. Además, también se puede emplear el apilamiento manual de capas de tejido preimpregnadas sobre y entre las capas de mechas, con el fin de proporcionar resistencia adicional en torno a aberturas recortadas y otras características locales. De esta manera, las mechas de fibra 28 junto con la capa más interna 22 forman un forro o estratificado cilíndrico continuo 30 que se extiende en torno a la pluralidad de rigidizadores.

En la realización que se ha descrito arriba, la máquina 24 situadora de fibra aplica mechas de fibra (por ejemplo mechas de fibra de carbono preimpregnadas con una resina epoxi termoendurecible) al estratificado 30. Tales mechas de fibra pueden tener anchuras desde aproximadamente 0,15 centímetros (0,06 pulgadas) hasta aproximadamente 1,3 centímetros (0,50 pulgadas) (por ejemplo, unos 0,97 centímetros (0,38 pulgadas)) después de aplanadas por un rodillo compactador. En otras realizaciones, la máquina situadora de fibra puede aplicar otros tipos de mecha, por ejemplo mechas de fibra de vidrio, mechas de fibra de grafito, y/o mechas que incluyen otros tipos de fibras de aramida y resinas.

En otra realización, la máquina 24 situadora de fibra puede aplicar al estratificado 30 cinta de fibras y/o cinta de fibras cortadas, a medida que el mandril 14 gira. La cinta de fibras puede incluir una pluralidad de fibras unidireccionales, tales como fibras de carbono. Las fibras pueden estar entretejidas con otro material para constituir una cinta de tejido, y/o bien las fibras pueden estar sujetas juntas por un papel de soporte que se retira antes de la aplicación.

En una realización adicional, la máquina 24 situadora de fibra puede aplicar filamentos individuales al estratificado 30 en un proceso de devanado de filamento. En otra realización más, la máquina 24 situadora de fibra puede aplicar al estratificado 30 diversas combinaciones de los materiales compuestos antes mencionados, así como hojas tejidas de material compuesto. La capa final de material aplicada al estratificado 30 puede incluir un tejido de malla de alambre que proporciona a la vez capacidad de soportar cargas estructurales y protección contra el rayo. En las realizaciones precedentes, el mandril 14 gira sobre el eje longitudinal L a medida que la máquina 24 situadora de fibra aplica material. Sin embargo, en otras realizaciones el mandril 14 puede estar rotacionalmente fijo, y se puede mover la máquina situadora de fibras 24 en torno al exterior del mandril 14 para aplicar material. Después de que se ha aplicado la capa final de material, la estructura 16 de soporte del útil transporta por las pistas 20 el mandril 14 desde la estación de colocación 12 a una estación de vacío.

Según una realización, la estación de vacío (que no se muestra en los dibujos) comprende soportes para almohadillas de presión enfrentados ubicados de forma amovible en lados opuestos de las pistas. Cada uno de los soportes para almohadillas de presión lleva una almohadilla de presión correspondiente. En funcionamiento, los soportes para almohadillas de presión se mueven hacia dentro, en dirección al mandril, para situar las almohadillas de presión correspondientes en torno al estratificado, en una configuración de concha de almeja. En una realización, las almohadillas de presión pueden incluir almohadillas de presión conformables y/o retículas para reparto de presión (ítem 46 en la Figura 6) configuradas para aplicar una presión uniforme al estratificado durante el curado posterior, con el fin de obtener una superficie exterior relativamente lisa. Una vez que se han instalado sobre el estratificado las almohadillas de presión, se retraen los soportes de almohadilla de presión y se puede instalar una funda para vacío (ítem 48 en la Figura 6) alrededor de las almohadillas de presión y el estratificado. Después de hacer vacío en la funda para vacío 48, se levanta el mandril retirándolo de la estructura de soporte de útil y se traslada a la estación de curado (que no se muestra en los dibujos) por medio de una viga superior en pórtico. En otras realizaciones, se puede omitir la funda para vacío y se puede curar conjuntamente el estratificado sin aplicación previa de vacío.

Según una realización, la viga de pórtico se extiende desde la estación de vacío hasta el interior de un autoclave (que no se muestra en los dibujos) situado en la estación de curado. Una primera puerta del autoclave puede ser retraída para permitir que el mandril sea trasladado al interior del autoclave mediante la viga de pórtico. Una vez que el mandril está situado completamente dentro del autoclave, se cierra la primera puerta y después se aumenta la temperatura dentro del autoclave para curar conjuntamente el estratificado y los rigidizadores. En una realización, el autoclave puede curar conjuntamente el estratificado y los rigidizadores empleando un ciclo estándar de curado a 180° C (350° F). En otras realizaciones se pueden emplear otros ciclos de curado, dependiendo de diversos factores tales como la composición del material, su grosor, etc. Una vez que se han enfriado las piezas, se retrae una segunda puerta del autoclave, y el mandril es trasladado fuera del autoclave y hacia la estación de inspección por medio de la viga de pórtico. En otras realizaciones, la estación de curado puede incluir otros sistemas para trasladar el mandril adentro y fuera del autoclave. Tales sistemas pueden incluir, por ejemplo, un carro de autoclave, carriles con base en el piso, etc.

Después de esto, el estratificado puede continuar siendo elaborado en las estaciones de inspección, de desbarbado y de montaje final de la misma manera que se ha descrito con anterioridad en la solicitud de patente de EE.UU. con número de serie 10/851,381 (véanse, por ejemplo, las figuras 10-13 en esa solicitud).

Las Figuras 4-6 son vistas frontales en sección transversal que ilustran diversas etapas de un método para unir un rigidizador 4 a un estratificado 30 según una forma de realización. Haciendo referencia a la Figura 4, se puede situar el rigidizador 4 sin curar en un surco 34 formado en una lámina de cara vista (en inglés "facesheet") 44 del mandril, estando constituida dicha lámina de cara vista por material compuesto, por ejemplo material compuesto formado por tejido de carbono y epoxi. La lámina de cara vista 44 estará configurada con una pluralidad de surcos espaciados a intervalos angulares iguales a lo largo de la circunferencia del mandril y que se extienden en direcciones generalmente longitudinales, en donde cada surco recibe un rigidizador respectivo. Cada rigidizador puede ser un rigidizador con sección en forma de sombrero (es decir, un larguero con perfil de sombrero) del tipo antes descrito con referencia a la Figura 2.

Haciendo de nuevo referencia a la Figura 4, después de que se ha situado el rigidizador 4 en el surco 34, se coloca dentro del rigidizador 4 una vejiga tubular flexible 40 que soporta una porción de tejido (o cinta, etc.) 42, y se infla con gas (por ejemplo, nitrógeno a 6,3 bares (90 libras/pulgada²)) de modo que el tejido 42 entra en contacto con una superficie interior 36 del rigidizador 4 entre porciones de faldilla opuestas 38a y 38b.

Haciendo referencia a la Figura 5, después de que se han colocado la vejiga 40 y el tejido 42 en el interior del rigidizador 4, se estratifican materiales compuestos sobre la lámina de cara vista 44 del mandril de la manera antes descrita para formar un forro 30 que está en contacto con las porciones de faldilla 38a, 38b y con el tejido 42.

Haciendo referencia a la Figura 6, sobre el forro 30 se coloca una almohadilla compresible o retícula para reparto de presión 46. A continuación, alrededor de la retícula para reparto de presión 46 y el mandril se coloca una funda para vacío 48. Después se hace vacío en el espacio entre la funda para vacío 48 y la vejiga 40 con el fin de aplicar una presión uniforme contra las piezas de material compuesto (es decir, el rigidizador 4, el forro 30 y el tejido 42). A continuación se curan conjuntamente a una temperatura elevada las piezas de material compuesto, mientras se mantiene el vacío. Después del curado, se quita la funda a la combinación rigidizador/estratificado, y se separa del mandril.

En una realización del método antes descrito con referencia a las Figuras 4-6, los rigidizadores 4 pueden ser fabricados colocando una o más capas de material directamente sobre la lámina de cara vista 44 del mandril. En otra realización, los rigidizadores pueden haber sido previamente curados, o al menos en parte previamente curados, antes de ser colocados en la lámina de cara vista del mandril. Cuando se utilizan rigidizadores previamente curados, pueden ser adheridos secundariamente al forro 30 con un adhesivo durante el posterior proceso de curado.

Una característica del método precedente es que el tejido 42 sirve como un refuerzo interior que une la superficie interna del rigidizador 4 a una porción adyacente del forro 30 entre las porciones de faldilla opuestas 38a, 38b. Una ventaja de esta característica es que el tejido 42 reduce las tensiones de despegadura sobre las porciones de faldilla

38a, 38b. En consecuencia, hay menos tendencia a que el rigidizador 4 se desuna del forro 30 al sufrir las elevadas cargas sobre el aro que pueden producirse durante el funcionamiento.

5 Durante el curado, la pila de capas de la sección de barril merma o disminuye de grosor, en comparación con su estado colocado pero sin curar. Este proceso de merma, cuando se está fabricando la sección de barril, tiende a producir en el forro estratificado distorsión de fibras hacia fuera del plano, por ejemplo ondulación de fibras o arrugamiento de fibras. Tales ondulaciones o arrugamientos de fibras no son aceptables en secciones de barril curadas, que serán rechazadas por no ser conformes al diseño y/o las especificaciones de forma, ajuste o función.

10 De acuerdo con el concepto amplio de las realizaciones descritas, la distorsión de fibras hacia fuera del plano en una sección compuesta monopieza de barril del fuselaje se reduce "haciendo crecer" el útil (mandril) durante el proceso de curado en mayor medida que lo hace la sección de barril que está siendo curada. Esto se logra mediante el diseño de una diferencia suficiente en los respectivos coeficientes de dilatación térmica (siglas inglesas CTE) del mandril y de la pila de capas de la sección de barril en la dirección del aro (CTEhoop). Esto se puede lograr fabricando un mandril formado por material compuesto (por ejemplo, tejido de carbono y epoxi) y creando surcos longitudinales distribuidos a intervalos angulares (iguales o diferentes) a lo largo de la circunferencia del mandril.

15 En la Figura 7, los coeficientes de dilatación térmica en el plano de la lámina de cara vista 44, en las direcciones X e Y, están representados por las flechas marcadas respectivamente CTEX y CTEY. Los CTEX y CTEY se muestran para ilustrar la dilatación térmica en el plano, y no están destinados a limitar la dirección de la dilatación térmica en el plano. CTEZ es el coeficiente de dilatación térmica en la dirección Z y es normal a la dilatación térmica en el plano CTEX y CTEY. En el caso de un material compuesto cuyas fibras reforzantes estén dispuestas en el plano X-Y, CTEZ es aproximadamente 10 veces mayor tanto con respecto a CTEX como con respecto a CTEY, porque la dilatación térmica de la resina en el plano está restringida por las fibras reforzantes, mientras que no existe una restricción similar en la dirección Z. CTEZ está dominado por la resina.

20 Sin embargo, en el caso de un mandril de material compuesto con surcos, del tipo descrito en la presente memoria, el coeficiente de dilatación térmica en la dirección del aro (CTEhoop), a lo largo de los lados del surco, recoge un componente del coeficiente de dilatación térmica en la dirección Z, tal como se representa en la Figura 8. La variación en el número de surcos longitudinales distribuidos a lo largo de la circunferencia del mandril modifica la cantidad de CTEZ traducido en CTEhoop.

25 Para la construcción que se muestra en la Figura 8, se colocan capas de tejido de carbono en una matriz de resina epoxi curada, sobre la superficie interior de un molde maestro que tiene una pluralidad de costillas axiales, para formar la lámina de cara vista 44 del mandril. Estas costillas situadas dentro del molde maestro forman los surcos 34 en la lámina de cara vista 44. Las fibras de carbono que se extienden en la dirección del aro siguen el contorno del surco. A lo largo de la pared en ángulo del surco 34, el coeficiente de dilatación térmica en la dirección Z (es decir, normal a la fibra reforzante) está indicado por el vector CTEZ. En el mismo punto, el coeficiente de dilatación térmica en la dirección de aro incluirá el componente $(\cos \Theta)CTEZ$ además de cualquier dilatación térmica en el plano.

30 La dilatación térmica en el plano puede ignorarse, ya que es aproximadamente la misma que la dilatación térmica en el plano de la pila de capas. Puesto que el coeficiente de dilatación térmica en la dirección del aro en una zona con surcos aumenta debido a la componente en dirección Z si se compara con el coeficiente de dilatación térmica en la dirección del aro en una zona sin surcos, ello crea una diferencia en los coeficientes de dilatación térmica en la dirección del aro entre el mandril y la pieza en forma de barril que se está fabricando, siendo el primero aproximadamente el triple que el segundo.

35 Como consecuencia de esta dilatación térmica diferente, las fibras contenidas en la pieza en forma de barril colocada son estiradas durante el curado, evitando así la distorsión de fibras hacia fuera del plano en las capas de dicho material compuesto durante la merma de volumen. La diferencia de CTE en la dirección del aro obliga a la pila de capas de la sección de barril a "crecer" radialmente a medida que el mandril se expande durante el curado, estirando de este modo la pila de capas de la sección de barril y eliminando la distorsión de fibras causada por la merma de volumen. Más particularmente, en los casos en que se esté fabricando una sección de barril que tenga en sentido longitudinal un pluralidad de largueros con perfil de sombrero, se prefiere un diseño en el cual el mandril y la sección de barril tienen una diferencia moderada entre sus CTE en la dirección del aro y una diferencia insustancial entre sus CTE en la dirección longitudinal.

40 Una realización del mandril tiene una lámina de cara vista 44 con surcos, de la cual se muestra una porción en la Figura 9. En este ejemplo, la lámina de cara vista 44 adopta la forma de un cilindro hueco con una pluralidad de surcos espaciados a intervalos angulares iguales o diferentes a lo largo de la circunferencia del mandril y que se extienden en una dirección generalmente longitudinal (a lo largo) para la fabricación de secciones de barril cilíndricas. Cada surco 34 representado en la Figura 9 tiene una sección transversal generalmente trapezoidal. En lugar de esquinas agudas, tal surco trapezoidal puede tener una sección transversal que se curva de forma continua, formando una rampa hacia dentro desde ambos lados con un ángulo de aproximadamente 60 grados, con una transición redondeada hacia la parte inferior. También son posibles otras formas de sección transversal del surco, tales como el surco semicircular 60 parcialmente mostrado en la Figura 10 o el surco 62 en forma de V parcialmente mostrado en la Figura 11, por nombrar algunos.

Conforme a la invención, la lámina de cara vista 44 está fabricada de un material compuesto que comprende tejido de carbono en una matriz de epoxi.

5 Volviendo a hacer referencia a la Figura 5, según un método de fabricación el estratificado 30, que comprende también material compuesto, es colocado sobre o arrollado en torno al conjunto que comprende una lámina de cara vista 44 de mandril con surcos 34 ocupada por rigidizadores 4 y vejigas 40. Durante el curado en autoclave, la lámina de cara vista 44 del mandril se expande radialmente hacia fuera, lo que hace que al menos las capas más internas del estratificado 30 colocadas sobre la misma sean estiradas en la dirección del aro (es decir, circunferencial). El mandril y el estratificado están diseñados de modo que cuando las capas más internas son estiradas, la circunferencia de las capas exteriores no disminuye a pesar de la merma de volumen que se produce durante el curado, es decir, las capas exteriores también son estiradas o mantienen sustancialmente la misma circunferencia. El epoxi cura por completo mientras las capas se encuentran en esta condición estirada.

15 En general, se desea que el mandril esté fabricado de material que no sea homogéneo, por ejemplo material compuesto. Según una realización, el mandril comprende un cuerpo que tiene un eje longitudinal y una superficie circunferencial externa con una pluralidad de surcos que se extienden en direcciones generalmente paralelas al eje longitudinal y separadas entre sí. En particular, la lámina de cara vista del mandril tiene un coeficiente de dilatación térmica en una dirección paralela al eje longitudinal que es significativamente menor que su coeficiente de dilatación térmica en la dirección del aro. Esto se logra porque el componente en la dirección Z del CTE de la lámina de cara vista del mandril (que está dominado por la resina) se pone de manifiesto en las zonas con surcos (véase la Figura 8).

20 En una aplicación, la lámina de cara vista del mandril es un estratificado formado colocando material compuesto (por ejemplo, capas de tejido de carbono impregnadas en resina) dentro de una superficie circunferencial interna de un molde maestro y curando después el material compuesto del tejido colocado. El tejido puede ser colocado en ángulos diferentes, por ejemplo -45/+45 ó 0/+90 grados. El molde maestro puede tener costillas formadas en el mismo de manera que el estratificado que se construya por colocación de tejido sobre la lámina de cara vista del mandril dispondrá de surcos para recibir los rigidizadores de sección de barril. Como alternativa, el mandril puede consistir en múltiples segmentos longitudinales que se asemejen a una sección de barril. Cada segmento longitudinal puede ser conformado individualmente en un molde separado.

25 En cualquiera de los casos, preferiblemente se recubre la superficie circunferencial externa del mandril provista de surcos (sea de una sola pieza o en segmentos) con cera u otro material de desmoldeo con el fin de facilitar la separación del mandril y la sección de barril estratificada durante el enfriamiento posterior al curado.

30 Haciendo referencia de nuevo a la Figura 12, otro mandril que no es parte de la invención comprende una pluralidad de segmentos de lámina de cara vista (véanse, por ejemplo, los segmentos 64A-C), en donde cada segmento tiene un labio 66 a lo largo de al menos un borde longitudinal 68. La Figura 12 muestra el caso en donde ambos bordes longitudinales de cada segmento de lámina de cara vista tienen labios 68. Las secciones de lámina de cara vista 35 64A, 64B, 64C, etc. pueden estar dispuestas con labios que hacen tope, para formar un mandril segmentado, visto parcialmente en la Figura 12. Este mandril segmentado puede tener una forma final que se asemeje al menos a una porción de una sección de barril. Tal como se muestra en la Figura 14, el apilamiento de capas en el plano de la sección 44A de la lámina de cara vista tiene un codo de unos 90 grados en un borde longitudinal y hacia el interior del labio 66, como se ilustra por las líneas de puntos y rayas 72 de dirección de la capa. Los segmentos de lámina de cara vista con labios pueden ser acoplados entre sí por medio de abrazaderas o pinzas u otros medios adecuados que no restrinjan la CTEZ en el labio 66. La combinación de geometrías para aprovechar los diferentes coeficientes de dilatación térmica del mandril puede crear un CTEhoop suficiente sin tener que depender, para aumentar el CTEhoop, de la geometría de los surcos con forma. Tal como se muestra en la Figura 13, se puede prescindir de los surcos, y también del incremento inducido en el CTEhoop por los surcos, o bien se pueden fabricar los surcos de una manera tal que el CTEhoop no se vea significativamente incrementado, por ejemplo mediante fresado o desbarbado, representada por los surcos 34 de la Figura 12.

40 Otro mandril que tampoco es parte de la invención puede comprender una pluralidad de segmentos de lámina de cara vista (véanse, por ejemplo, los segmentos 44A-C de la Figura 13), en donde ningún segmento tiene labios a lo largo de cualquiera de los bordes longitudinales 68. Entre los bordes longitudinales 68 de cada par de segmentos adyacentes de la lámina de cara vista puede estar situado al menos un bloque separador 70. Se puede disponer una pluralidad de tales secciones de lámina de cara vista y bloques separadores para formar un mandril segmentado, tal como se muestra parcialmente en la Figura 13. Este mandril segmentado puede tener una forma final que se asemeje al menos a una porción de una sección de barril. Cada segmento de lámina de cara vista y cada bloque separador pueden comprender un estratificado compuesto. El apilamiento de capas en el plano para este caso está 55 ilustrado por las líneas de puntos y rayas 72 de dirección de capas en los segmentos 44A y 44B y el bloque separador 70. Los segmentos de lámina de cara vista pueden ser acoplados a los bloques separadores 70 por medio de abrazaderas o pinzas u otros medios adecuados que no restrinjan la CTEZ en el bloque separador 70. De nuevo, la combinación de geometrías para aprovechar los diferentes coeficientes de dilatación térmica del mandril puede crear un CTEhoop suficiente sin tener que depender, para aumentar el CTEhoop, de la geometría de los surcos con forma. Tal como se muestra en la Figura 13, se puede prescindir de los surcos, y también del incremento inducido en el CTEhoop por los surcos, o bien se pueden fabricar los surcos de una manera tal que el CTEhoop no 60

se vea significativamente incrementado, por ejemplo mediante fresado o desbarbado, representada por los surcos 34 de la Figura 12.

5 El mandril que no es parte de la invención mostrado parcialmente en las Figuras 14 y 15 se basa en traducir los CTEz significativos, respectivamente del labio 66 y del bloque separador 70, a CTEhoop incrementado. El CTEhoop incrementado en cualquiera de las realizaciones puede ser significativamente mayor que el CTEhoop derivado sólo de CTE_x y/o CTE_y. Algunos labios 66 y/o bloques separadores 70 dispuestos longitudinalmente a lo largo de la circunferencia del mandril darán como resultado un incremento del CTEhoop menor que muchos labios 66 y/o bloques separadores 70 dispuestos longitudinalmente a lo largo de la circunferencia del mandril. Si se modifica el espesor y/o la estructura interna y/o la composición del estratificado del labio 66 o del bloque separador 70, la CTEz varía, lo que trae como consecuencia la variación de CTEhoop.

10 Haciendo de nuevo referencia a la Figura 12, se pueden formar surcos 34 en segmentos de la lámina de cara vista por cualquier medio adecuado tal como, pero sin quedar no limitado a éstos, fresado o desbarbado. Los surcos 34 pueden proporcionar espacio para el curado conjunto de rigidizadores, tales como largueros o travesaños. La forma de los surcos 34 puede estar configurada para alojar una sección en forma de sombrero, una sección en Z, una sección en T, o cualquier otra configuración adecuada para acomodar un rigidizador.

15 A modo de ejemplo, otro mandril que no es parte de la invención puede tener uno o más segmentos de lámina de cara vista (por ejemplo, los segmentos 44A-C que se ven en la Figura 16) que se desplazan radialmente hacia fuera, haciendo que el mandril cambie desde un estado no expandido a un estado expandido. Cada segmento de lámina de cara vista puede comprender un par de bordes longitudinales 68. Una pluralidad de segmentos de lámina de cara vista pueden estar dispuestos en posiciones retraídas (es decir, el mandril en un estado sin expandir 80) tal como se muestra en la Figura 16, con bordes longitudinales enfrentados adyacentes uno a otro, estando soportado cada segmento por una estructura de soporte móvil 74 respectiva, aunque sólo un miembro de cada estructura de soporte es visible en la Figura 16. Cada estructura de soporte puede ser desplazada radialmente hacia fuera, haciendo que los segmentos de lámina de cara vista (por ejemplo, 44A-C) se muevan a posiciones extendidas respectivas (es decir, el mandril en un estado expandido 82) durante el proceso de curado, tal como se muestra en la Figura 17. El movimiento de los segmentos de la lámina de cara vista desde la posición retraída hasta la posición extendida hace que la circunferencia del mandril se expanda y puede estirar una o más capas del conjunto de capas de material compuesto colocado a lo largo de una dirección generalmente circunferencial. Esta expansión durante la merma de volumen del conjunto de capas de material compuesto ayuda a prevenir la distorsión de fibras hacia fuera del plano en las capas del apilamiento de material compuesto. El movimiento de las estructuras de soporte 74 puede ser realizado por cualquier medio adecuado, entre ellos, pero sin quedar limitado a éstos, un mecanismo desviador, un accionamiento neumático o hidráulico, o propulsión por motor. Cualquier hueco que exista entre los segmentos de lámina de cara vista cuando el mandril se expanda puede ser llenado mediante relleno 76 (véase la Figura 18) a fin de soportar el apilamiento de material compuesto. El relleno 76 puede estar fabricado de cualquier material adecuado, por ejemplo metal o material compuesto, por nombrar alguno. El relleno 76 puede estar acoplado a al menos un segmento de lámina de cara vista de manera tal que puede ser trasladado a su posición durante o después de la extensión de los segmentos de lámina de cara vista.

20 La Figura 19 muestra una etapa en el método de fabricación posterior al curado y enfriamiento, y después de que se hayan desinflado y retirado las vejigas. Durante el enfriamiento del apilamiento, los segmentos de lámina de cara vista son trasladados de vuelta a las posiciones retraídas, haciendo que el mandril se separe de la sección de barril rigidizada, tal como indica el intersticio 50 mostrado en la Figura 19. Esta separación facilita la retirada del mandril separándolo de la sección de barril 110. Dado que el estratificado merma en volumen (es decir, decrece en espesor) durante el curado sin que disminuya la circunferencia de las fibras de carbono en las capas exteriores, la distorsión de fibras hacia fuera del plano puede reducirse a niveles aceptables, cuando no eliminarse por completo.

25 Muchas modificaciones y otras realizaciones vendrán a la mente del experto en la técnica a la que se refiere esta descripción, con el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones precedentes y los dibujos asociados. Por lo tanto, ha de entenderse que las reivindicaciones adjuntas no deben quedar limitadas a las realizaciones específicas descritas y que se pretende que dentro de su alcance estén incluidas modificaciones y otras realizaciones. Aunque en la presente memoria se emplean términos específicos, éstos se utilizan sólo en un sentido genérico y descriptivo, y no con fines de limitación.

30 Tal como se utiliza en las reivindicaciones, el término "circunferencia" debe interpretarse en sentido amplio para abarcar tanto líneas no circulares como líneas circulares.

REIVINDICACIONES

1.- Un método para fabricar una sección (110) compuesta monopieza de barril del fuselaje, que comprende los siguientes pasos:

(a) colocar un conjunto de capas de material compuesto en torno a un mandril (14); y

5 (b) elevar la temperatura y presión dentro de un volumen que rodea al conjunto de capas de material compuesto, siendo la elevación de temperatura suficiente para provocar que la circunferencia del mandril (14) se expanda y estire una o más capas (22) del conjunto de capas de material compuesto,

10 **caracterizado porque** el mandril (14) tiene una pluralidad de surcos longitudinales (34) distribuidos a intervalos angulares a lo largo de su superficie circunferencial externa (44), cada surco (34) tiene un perfil contorneado en sección transversal, el mandril (14) está fabricado de material compuesto que comprende fibras reforzantes que están sustancialmente orientadas en la dirección longitudinal, y el material sigue los contornos de los surcos (34), con lo cual el mandril (14) que tiene un coeficiente de dilatación térmica en las zonas de los surcos (34) que es sustancialmente mayor en una dirección de aro que el coeficiente de dilatación térmica del conjunto de capas de material compuesto en la dirección de aro, y el mandril (14) y el conjunto de capas de material compuesto tienen

15 coeficientes de dilatación térmica en una dirección longitudinal que no difieren sustancialmente, y de este modo una o más capas (22) del conjunto de capas de material compuesto son estiradas como en el paso b.

2.- El método según la reivindicación 1, que comprende además los pasos de:

disminuir la temperatura y presión dentro del volumen; y

20 separar el mandril (14) del conjunto de capas de material compuesto después de que este último se ha enfriado.

3.- El método según la reivindicación 1, en donde la colocación comprende los siguientes pasos:

(i) situar una porción de un respectivo larguero con perfil de sombrero en un surco respectivo de dicha pluralidad de surcos (34), en donde cada larguero con perfil de sombrero está constituido por múltiples capas de material compuesto;

25 (ii) situar una vejiga (40) respectiva en dicha porción de dicho respectivo larguero con perfil de sombrero después de haber realizado el paso (i); y

(iii) situar múltiples capas de material compuesto en torno a la superficie circunferencial externa del mandril y las vejigas (40).

30 4.- El método según la reivindicación 1, en donde una porción circunferencial externa del mandril (14) comprende tejido reforzante y material polímero.

5.- El método según la reivindicación 1, que comprende además los siguientes pasos, llevados a cabo después del paso (a) y antes del paso (b):

rodear el conjunto de capas de material compuesto con una lámina impermeable al aire sellada (48), para formar un espacio donde se puede hacer vacío; y

35 hacer vacío en el espacio donde se puede hacer vacío.

6.- Un mandril (14) para fabricar una sección (110) compuesta monopieza de barril del fuselaje, que comprende un cuerpo que tiene un eje longitudinal y una superficie circunferencial externa, **caracterizado porque** dicho cuerpo está fabricado de material compuesto que comprende fibras reforzantes sustancialmente orientadas en la dirección longitudinal, y que tiene una pluralidad de surcos longitudinales (34) distribuidos a intervalos angulares a lo largo de su superficie circunferencial externa, y el material sigue los contornos de los surcos (34), con lo cual en las zonas de los surcos (34) el mandril (14) tiene un coeficiente de dilatación térmica en una dirección longitudinal que es menor que su coeficiente de dilatación térmica en una dirección del aro.

40

7.- El mandril (14) según la reivindicación 6, en donde dicho cuerpo comprende una pluralidad de segmentos longitudinales (64A), en donde cada uno de dichos segmentos longitudinales (64A) tiene un par de bordes longitudinales (68), en donde al menos algunos de dichos bordes longitudinales (68) tienen un respectivo labio (66) vuelto hacia dentro.

45

8.- El mandril (14) según la reivindicación 6, en donde dicho cuerpo comprende una pluralidad de segmentos longitudinales (64A), en donde cada uno de dichos segmentos longitudinales (64A) tiene un par de bordes longitudinales (68),

50 en donde cada uno de dichos segmentos longitudinales (68) tiene al menos un surco longitudinal (34) en su

superficie externa.

5 9.- El mandril según la reivindicación 6, en donde dicho cuerpo comprende una pluralidad de segmentos longitudinales (64A), en donde cada uno de dichos segmentos longitudinales (64A) tiene un par de bordes longitudinales (68), en donde está dispuesto un bloque separador (70) entre bordes longitudinales (68) de primer y segundo segmentos longitudinales que son adyacentes entre sí.

10.- El mandril (14) según la reivindicación 6, en donde dicho cuerpo es un estratificado formado colocando tejido fabricado de material compuesto dentro de una superficie de soporte circunferencial y curando después dicho material compuesto de dicho tejido colocado.

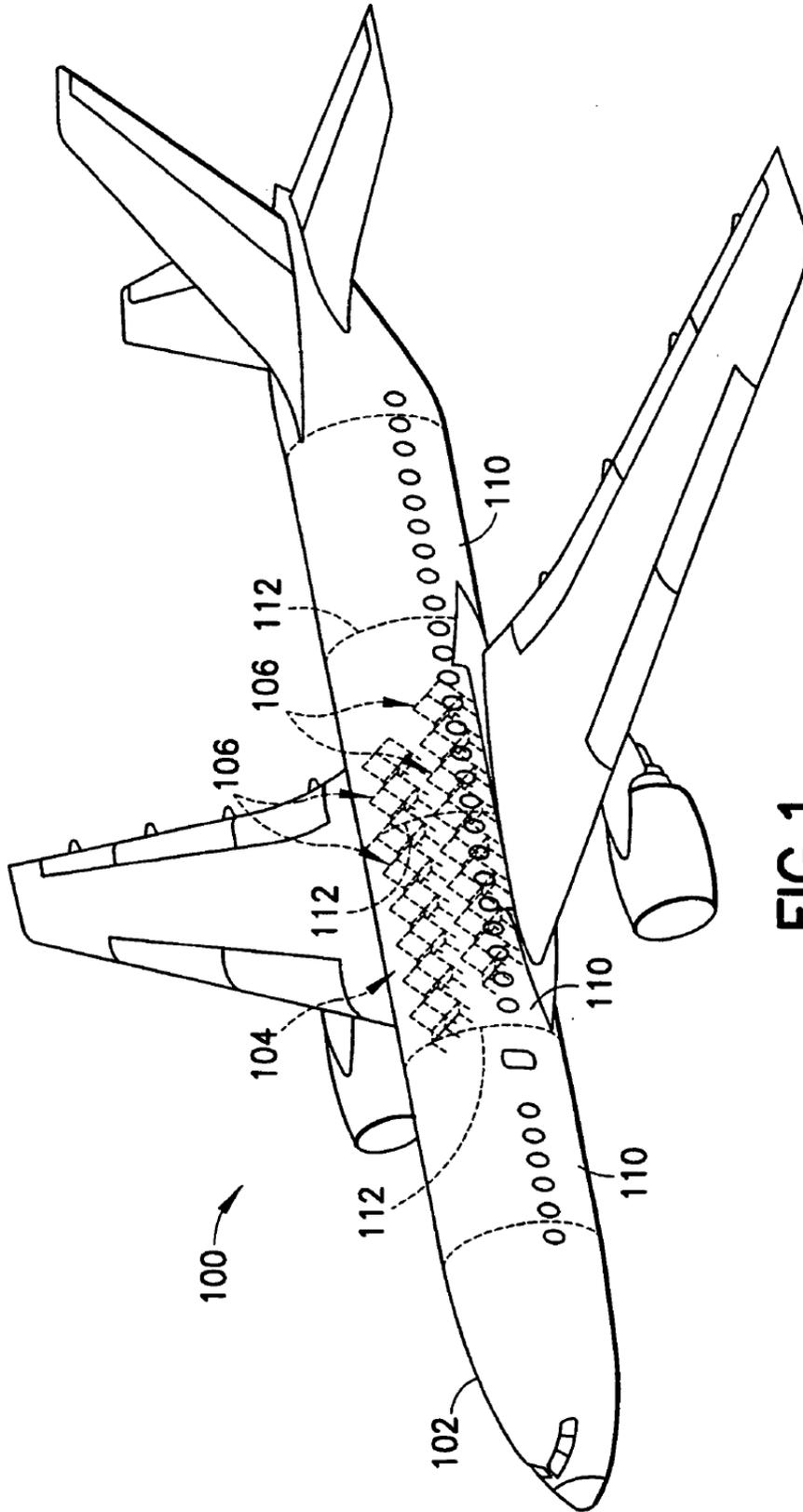


FIG. 1

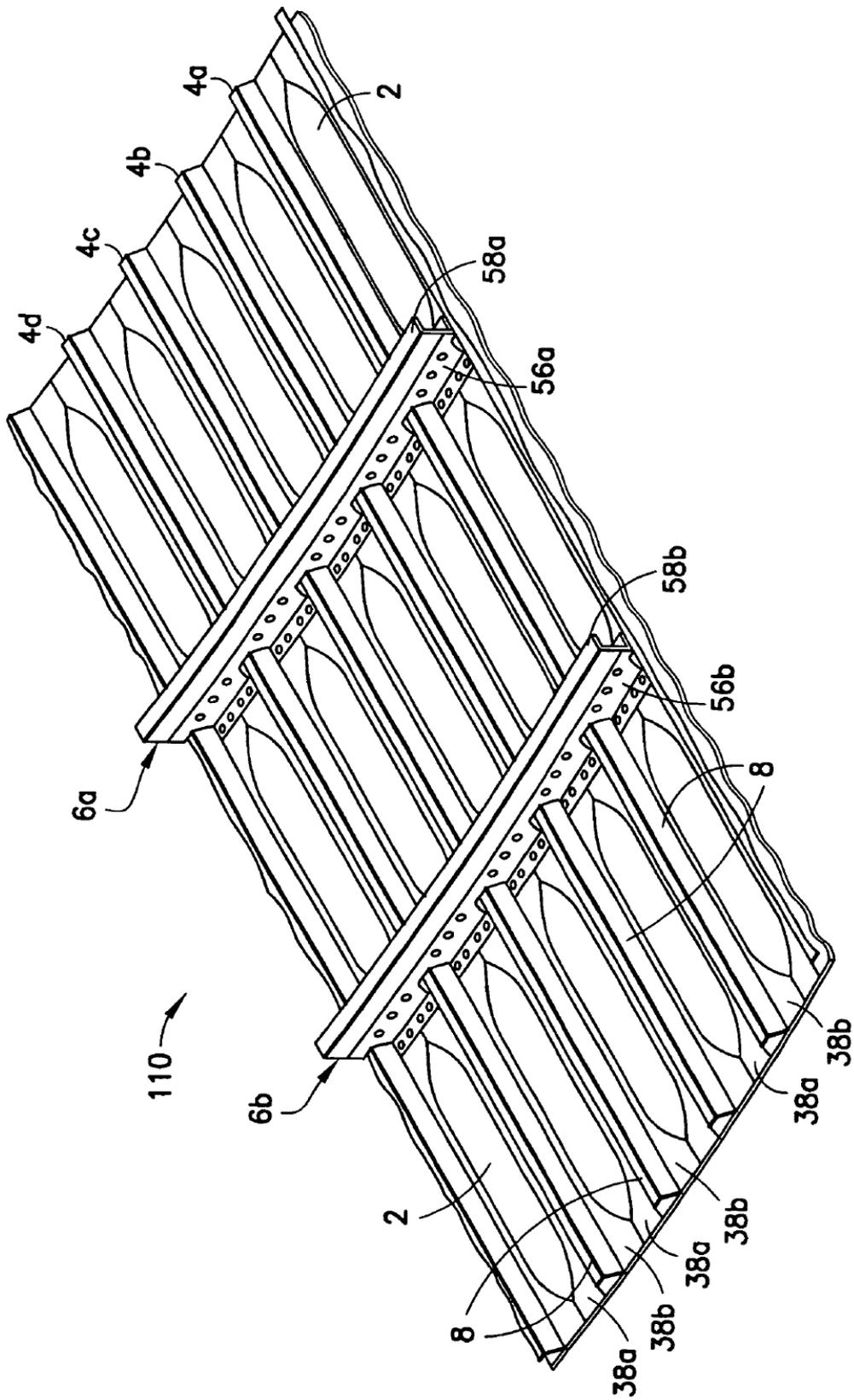


FIG.2

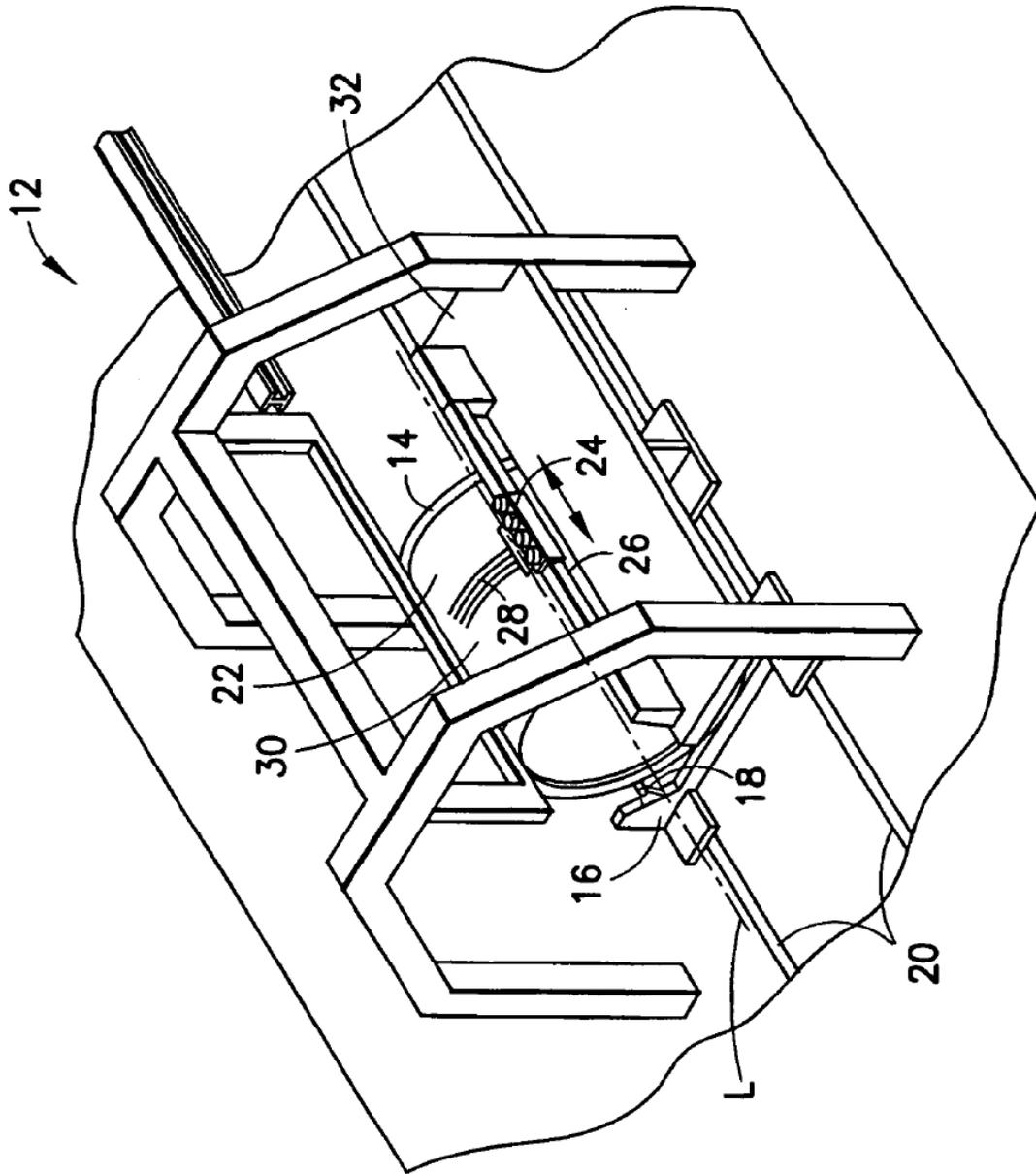


FIG.3

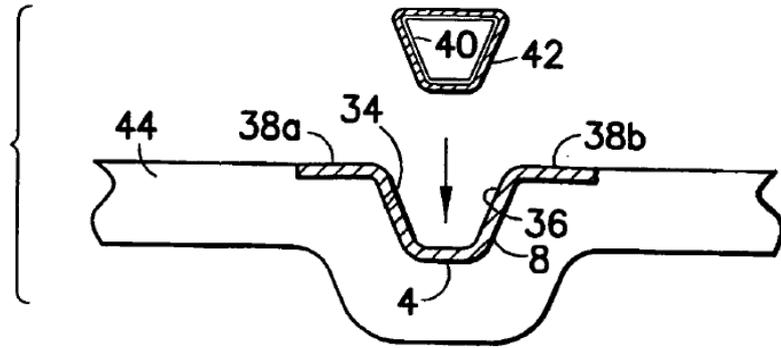


FIG. 4

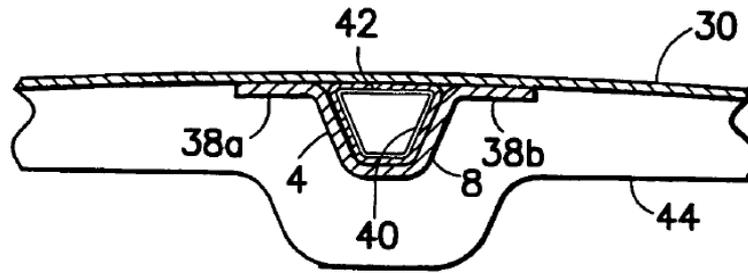


FIG. 5

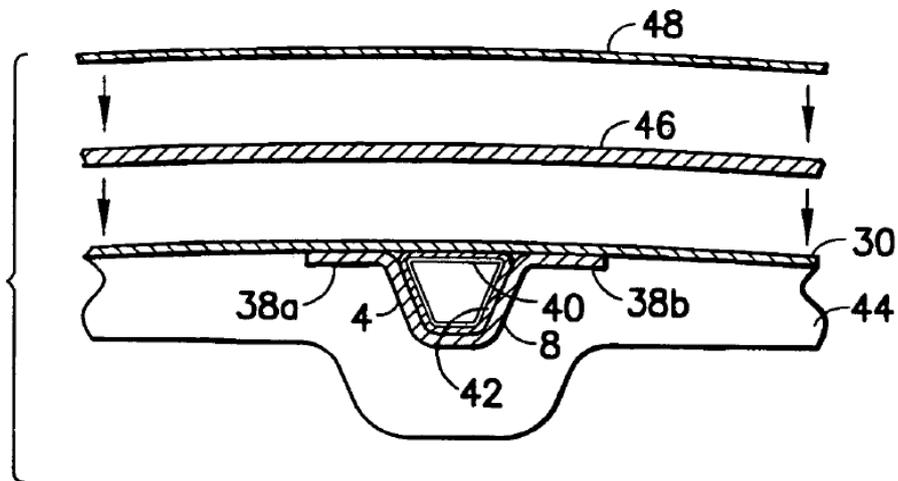


FIG. 6

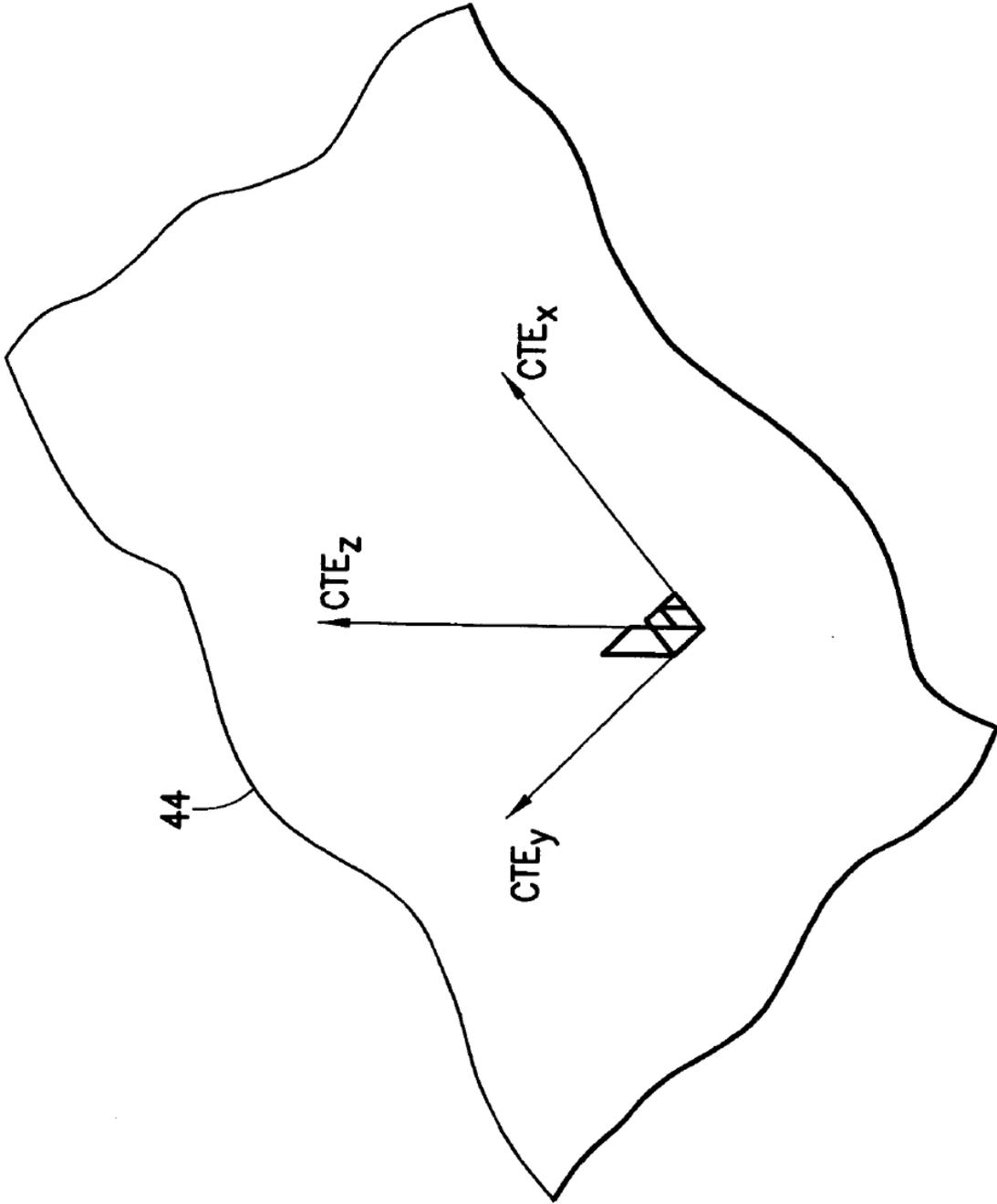


FIG.7

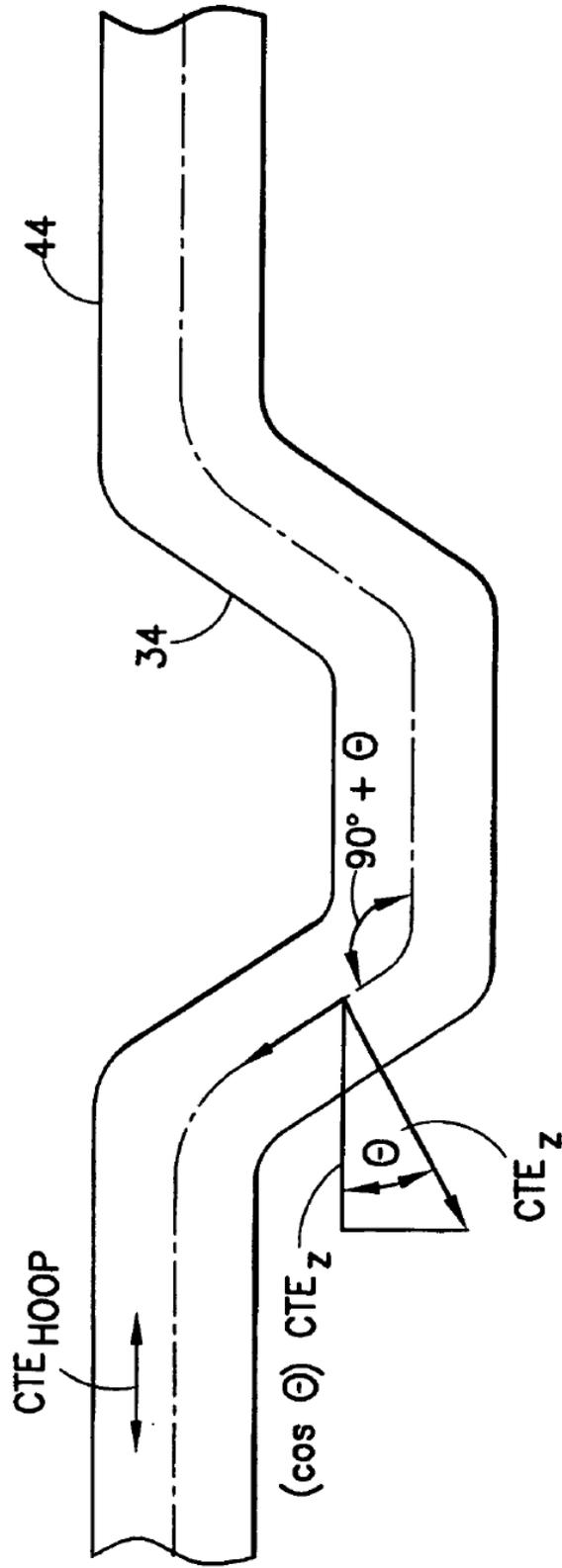
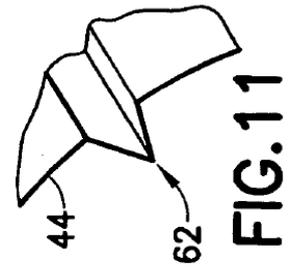
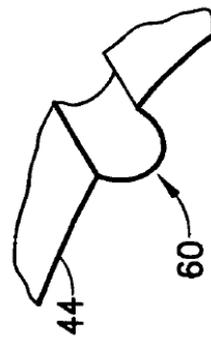
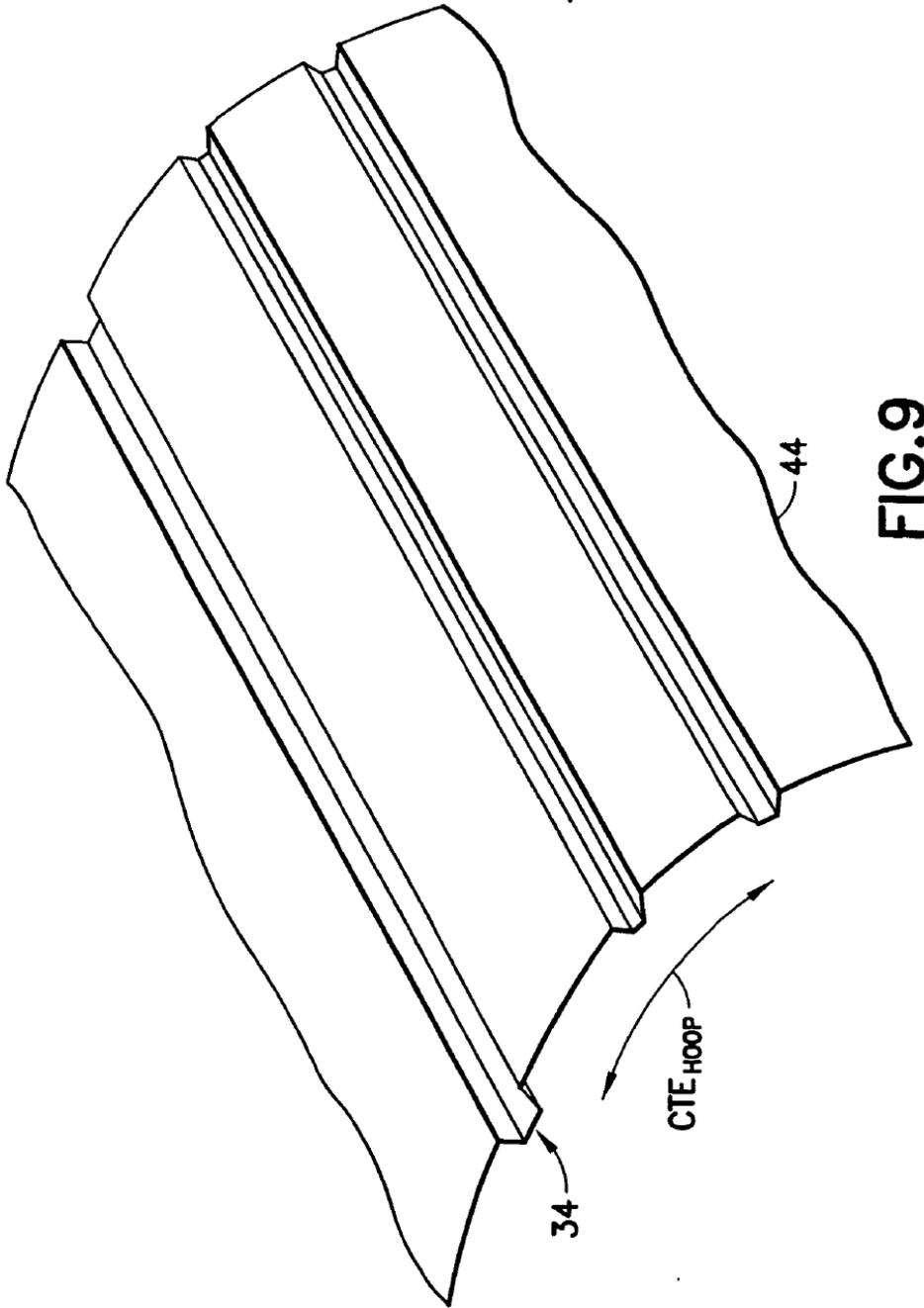
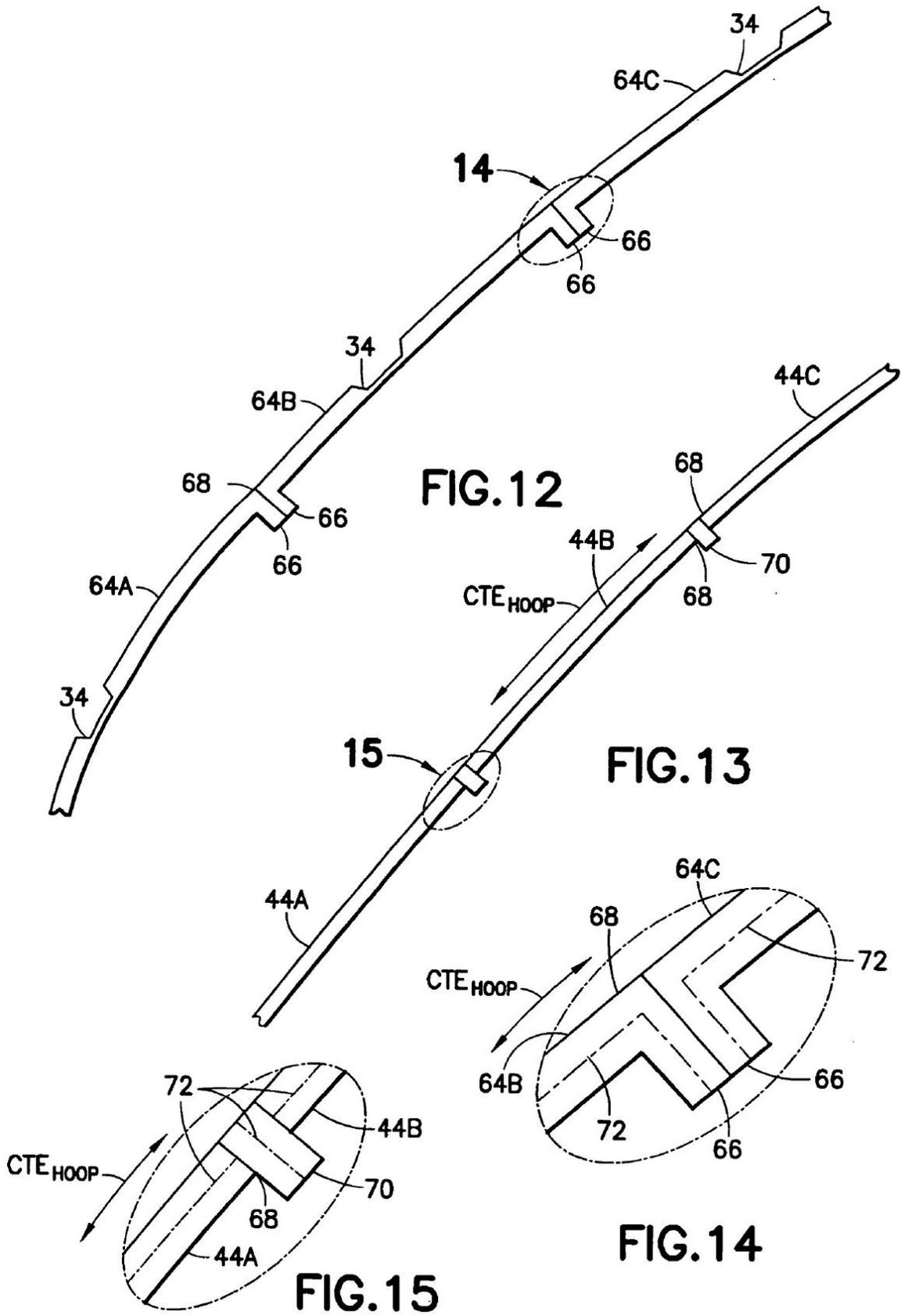


FIG.8





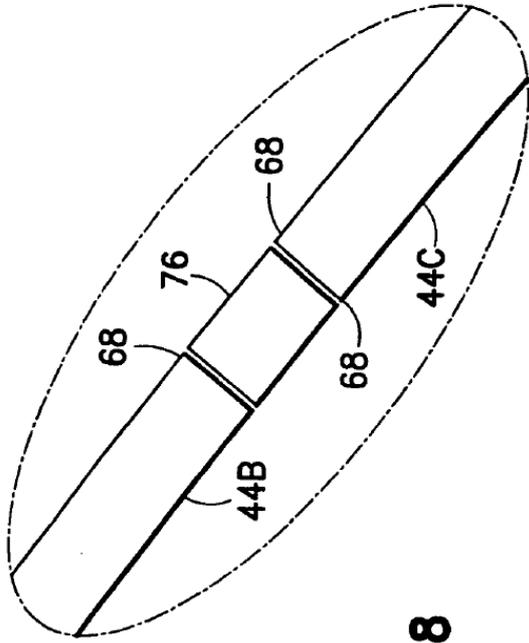


FIG. 18

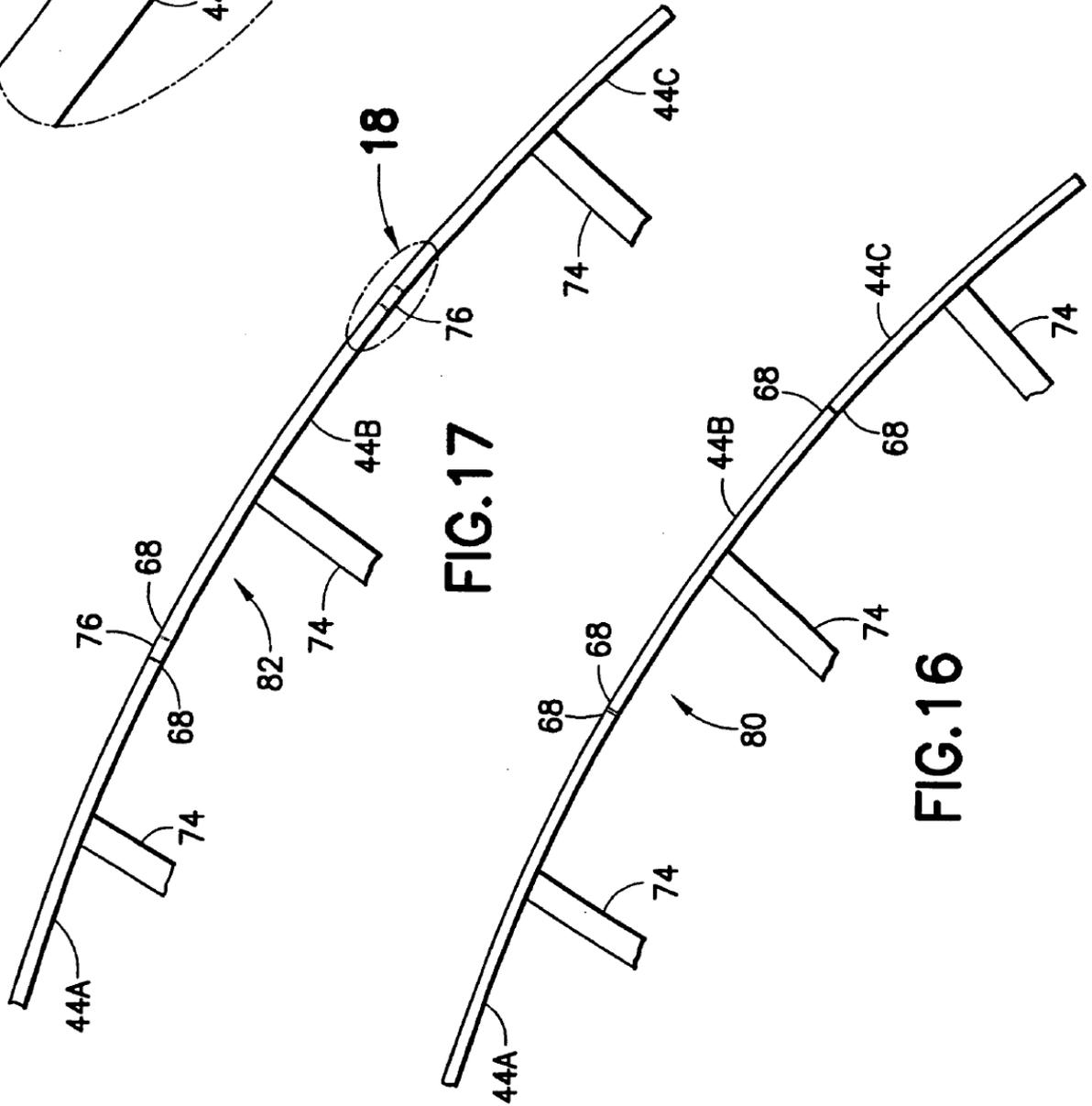


FIG. 17

FIG. 16

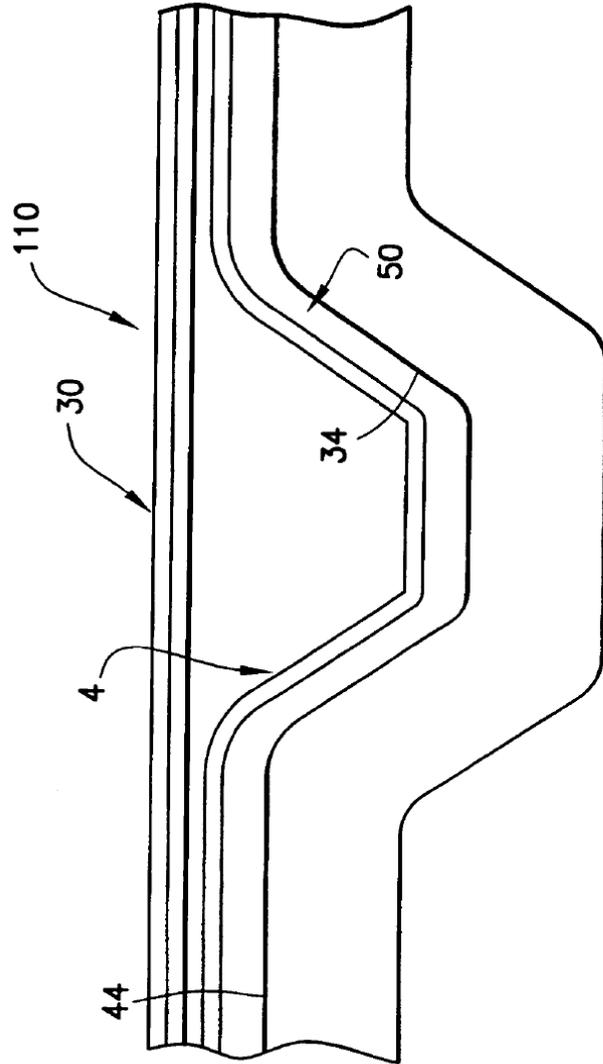


FIG.19